元认知中自信心对联合决策的预测作用[1]

张紫琦[1] 贺则宇[1] 罗文波[*1] 伍海燕[*2]
[1] (辽宁师范大学脑与认知神经科学研究中心, 大连 116029)
[2] (中国科学院心理研究所, 北京 100101)

摘要:
元认知通常指个体对自身认知活动的主观判断，自信心作为其指标之一，对个体认识和调节自己的行为有重要作用。研究表明自信心指标在联合研究过程中常见的任务类型涉及基础和高级心理加工过程，此外，自信心对联合决策的预测逐渐向基于计算模型的探索性参数变化。最后，自信心的神经生理研究发现了前额叶皮层及其相关脑区和后顶叶皮层的重要性。今后应注重探索可能的预测参数和模型，优化自信心对联合决策的预测作用。
关键词 元认知；自信心；联合决策

The predictive effect of metacognitive confidence on joint decision making

ZHANG Ziqi[1]; HE Zeyu[1]; LUO Wenbo[1]; WU Haiyan[2]
[1] (*Research Center of Brain and Cognitive Neuroscience, Liaoning Normal University, Dalian* 116029, *China*)
[2] (*Institute of Psychology, Chinese Academy Sciences, Beijing* 100101, *China*)

Abstract: Metacognition refers to individual's subjective judgment about process of ongoing cognitive activities. As one of the indicators reflecting metacognitive sensitivity, confidence plays an important role in the individual's understanding and adjustment of one' s own behaviors. Studies have shown that the common task types in self-confidence indicators involve basic and advanced mental processing. In addition, the prediction of self-confidence on joint decision making gradually changes from confidence itself to exploratory prediction parameters based on computational models. Finally, neurophysiological research on confidence has verified the importance of prefrontal cortex (PFC) and posterior parietal cortex (PPC). In order to optimize the predictive function of confidence, future research should explore other complementary computational models related to confidence in decision-making process.
Key words: Metacognition; Confidence; Joint decision

1 引言

元认知通常指个体对自身认知活动的主观判断，自信心(Confidence)作为其指标之一反映了个体对自身选择的自信程度，是对选择正确性概率的主观估计(Robinson, Johnson, & Herndon, 1997)。在联合决策(Joint decision)过程中，自信心指标有益于预测

1收稿日期：2019-06-18

通讯作者：伍海燕，E-mail：wuhy@psych.ac.cn；罗文波，Email：wenbo9390@sina.com

*基金支持：国家自然科学基金，生理因素与社会因素影响共情的脑机制研究，批准号：31871106
国家自然科学基金，社会交互中动机性说谎的神经机制，批准号：U1736125

联合决策集体利益，帮助个体认识和调节社会决策中的合作行为。集体利益(collective benefit)通常指联合决策正确性和个体选择正确性之间的差异程度，集体利益的大小反映决策的优劣性(Pescetelli, Rees, & Bahrami, 2016)。在众多感知觉以及认知决策领域中，如易存在分歧的赛事裁定和医学诊断，其研究表明通过整合个体的不同意见及其对应的自信程度等信息，可以提高联合决策的正确性(Koriat, 2012a; Lorenz, Rauhut, Schweitzer, & Helbing, 2011; Mannes, Soll, & Larrick, 2014)。本文论述了自信心指标的提出及其重要性，并对决策研究过程中常见的任务类型，联合决策中自信心相关参数和计算模型的计算等问题进行了梳理，最后介绍了联合决策中自信心相关的神经生理机制，以期为今后的研究提供参考和视角。

2 联合决策中的元认知概念

在探索自信心指标和联合决策的关系之前，认知心理学家已长期关注元认知对联合决策的重要性。早期对联合决策的研究受“反复测量”概念的启发(Armstrong, 2001; Surowiecki & Silverman, 2005)，而随着信号检测论和接受者操作特性曲线(receiver operating characteristic curve，ROC)的引入和应用，研究发现尽管联合决策依赖于物理刺激特征，但个体的元认知水平同样影响联合决策(Galvin, Podd, Drga, & Whitmore, 2003; Macmillan & Creelman, 2004)。

2.1 早期“群体智慧”的测量及元认知在其中的重要性

感知觉和认知决策领域的相关研究发现，个体通过整合他人的观点可以提高最终决策的准确性，也就是通常所说的“三个臭皮匠，顶个诸葛亮”，亦或者说是“群体智慧”(wisdom of the crowd，WOC)(Koriat, 2012b; Lorenz et al., 2011; Mannes et al., 2014)。针对这一现象的研究工作可以追溯到上个世纪初(Galton, 1907)，科学家们为了探索该现象的本质尝试提出了众多理论(Bovens & Hartmann, 2003; Nitzan & Paroush, 1985)，这些理论多基于相同的假设前提，即个体观察到的任何信息都是环境信号(signal)和随机噪音(noise)混合构成的，每次观察都相对独立，不受个体偏好和主观因素的影响。

基于此，研究者通过获取不同个体的决策结果，进而控制非相关噪音带来的干扰，增强决策强度，这种测量“群体智慧”的思想受统计学中“反复测量”的启发，二者具有异曲同工之妙(Surowiecki & Silverman, 2005)。这种方法对单一被试同样适用，当同一个人进行反复观察或重复决策时，也可以获得更好的估计结果(Rauhut & Lorenz, 2011; Vul & Pashler, 2008)。

不过有研究者提出，在现实世界的决策互动中，不仅独立样本的决策结果影响着联合决策，个体间对自身决策不确定性的沟通也影响着联合决策的结果(Pescetelli et al., 2016)。在联合决策任务中，通常会要求个体进行独立的决策，然后在个体间进行互动或交换决策信息之后，随机再指定一名个体进行联合决策，而当个体决策建立在令人信服的证据基础上时，人们对自己的选择更有信心，这时个体决策对联合决策的影响也越大。Brennan 和 Enns(2015)的研究支持了这一观点，研究表明人们在和他人互动时会对他人决策结果及自信心进行价值评估，以更好地进行联合决策。此外，Bahrami 等人(2010)的研究发现当假设个体可以精确表述自身选择的准确性时，个体间视觉敏感性(对刺激的感知觉能力)的差异会影响联合决策的结果，此时视觉敏感性更高的个体对决策的自信心相对更高。因此当敏感度差异足够大时，不仅不会出现“群体智慧”的现象，甚至会出现负面结果，使联合决策集体利益低于群体中敏感性较高的个体的决策。

这种对自身决策不确定性估计的心理加工过程被笼统地称为元认知(Metacognition)。1976 年，Flavell 最早提出元认知这一概念，后续其他研究者也对元认

知相关定义和概念提出了不同的见解(如：Kitchner, 1983)，不过这些观点都认同元认知对个体决策的重要性。

综上，元认知在决策过程中发挥着重要作用，其中个体间元认知敏感性的差异和个体内决策不确定性的估计都会影响联合决策的结果。随着研究者逐渐意识到元认知对联合决策的重要性，如何准确测量元认知敏感性程度并为元认知敏感性提供合适的指标，成为推动优化联合决策的关键。

2.2 “元认知敏感性”概念的定义及其神经生理基础

近现代有研究者引入信号检测相关理论对元认知进一步进行分析，将元水平决策归于“Ⅱ型”决策(Galvin et al., 2003; Macmillan & Creelman, 2004)。“Ⅰ型”(First-order 或“type I”)决策通常指代基于物理刺激特征的决策，是参与者对实验刺激的直接选择过程。“Ⅱ型”(Second-order 或“type II”)决策是对认知的认知，属于元认知水平，监控、认知并调节“Ⅰ型”决策。

元认知敏感性则反映了元认知水平(如自信心高低)和“Ⅰ型”决策任务表现之间的共变性，也被称为元认知准确性、二型敏感性、辨别性、可靠性或信心-准确率相关。研究发现对于具有较高元认知敏感性的个体而言，自信度高的决策和自信度低的决策相比正确性更高(Fleming & Frith, 2014)。

在元认知研究的早期阶段，Comte(1950)认为个体智力能力可以指向内部的逻辑存在悖论，即将个体思维分为两部分(指向外部刺激的决策过程和指向内部的元认知过程)进行自我观察是不可得的。但随着现代神经科学的发展，发现当把大脑工作理解为区域网络，相互协同时，上述研究思路是可行的。从来自功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging，fMRI)的证据来看，不同脑区对不同等级的信息加工程度不同，如前额叶皮层（prefrontal cortex，PFC)主要处理初级感觉层次的信息，这为研究个体元认知敏感性差异提供了生理基础支持。因此，现代研究在对局部或大尺度脑区功能建模时，也趋向于将等级加工作为基础的组织原则(Fleming & Dolan, 2012)。

前额叶在元认知以及元认知敏感性中的重要作用，得到了越来越多来自神经心理学证据的支持。Schmitz 等人(2006)通过分析个体自我报告和家人报告的差异，发现前额叶受损的个体对自身的认知水平和人格的元认知上存在缺陷。其他脑成像的研究进一步证实了前额叶皮层对生成“Ⅱ型”决策的重要性，前侧和背外侧皮层在元认知敏感性的加工过程中起关键作用(Fletcher & Henson, 2001)。此外，元认知水平高低与前额叶皮层的灰质体积有关，个体间元认知敏感性差异可能和前额叶皮层白质的微观结构有关(Fleming & Dolan, 2012)。元认知敏感性研究逻辑的可得性及其相关神经生理证据促进了研究的深入发展，有利于进一步探索量化元认知敏感性的可能指标。

3 自信心指标的提出及常见的任务类型

3.1 自信心：元认知敏感性的反映指标

早期认知心理学家在研究元认知活动时，主要通过个体的口头自我报告作为反映元认知敏感性的指标。后续研究发现，采用被试的口头报告作为元认知的评估标准容易产生自我偏差，即和评估他人相比，对人格和认知进行自我评估会有明显的自我偏向，称为“内省错觉(introspection illusion)”(Pronin, 2007)。后来，这种易受个体偏好和环境影响的元认知测量方法的使用逐渐减少。近现代众多研究提出了元认知的多种其他度量指标，如“自信心等级”(confidence ratings)(Peirce & Jastrow, 1884)、“知觉意识量表”(perceptual awareness scale)(Overgaard & Sandberg, 2012)和“决策后下赌注”(post decision wagering)(Persaud, McLeod, & Cowey, 2007)等。

其中自信心这一指标反映了个体对自身选择准确性的自信程度。众多研究表明任务表现和其自信程度之间的关系可以作为衡量个体元认知敏感性的可靠指标(Fleming & Dolan, 2012; Fleming & Frith, 2014; Pescetelli et al., 2016)。Koriat 等(2006)的研究支持了这一观点，研究过程中给被试呈现两列成对的线索词−目标词进行学习，在完成所有词对的学习之后，电脑再次呈现词汇让被试进行再认，并对选择的自信程度做判断，结果发现：对记忆提取的信息的自信程度和选择正确性之间存在显著相关。除此之外 Baumgart 等人(2019)研究也反映了任务表现和自信程度之间呈正相关，对选择的自信程度越高，选择正确率往往也越高，表明个体元认知敏感度越高。因此，可以通过自信心反映个体元认知敏感性的高低，为了进一步理解其在联合决策中如何发挥作用，明确自信心在决策研究中有哪些具体的实验任务类型，以及如何操作便尤为重要。

3.2 自信心相关的常见任务类型

决策研究中所采用的任务通常涉及基础心理加工过程，如视空间任务(visuospatial task)和感知决策任务(perceptual decision-making task)。除此之外，也有涉及高级心理过程(如推理、判断等)的任务类型，如高级社会认知推理任务(high-level social and cognitive reasoning task)。

在视空间任务类型中，视空间功能通常指识别视觉空间的局部或者整体特征，整合空间框架并对空间概念执行心理操作的能力(Salimi et al., 2018)。在决策研究中，通常采用视空间点动任务及其变式进行研究。Van den Berg 及其同事(2016)在双阶段决策研究中，对两个决策阶段均采用动态随机点动任务，要求被试判断中心圆点的运动方向，第一阶段判断左右运动，第二阶段判断上下运动，随后对选择进行自信心评定。任务要求只有当两个阶段的决策都正确时，才能判定最终决策正确，研究通过改变点动强度调节难度水平。结果发现当被试对第一个判断充满信心时，个体第二阶段会调整自己的决策策略(如更加深思熟虑，反应时增加)。反之，则迅速做出反应，以降低时间成本。Allen(2017)的研究同样采用点动任务变式，通过静息态 fMRI 和多参数图谱技术(multi-parameter mapping，MPM)来量化元认知能力有关的组织学特征，实验采用全局点动识别任务(global dot motion discrimination task)，要求被试判断点的整体运动方向或者平均运动方向，通过改变点动速度和方向控制实验难度，以获得局部灰质髓鞘和铁含量的相关数据，探讨其与主观自信心之间的相关。

感知决策任务同样涉及基础心理加工过程，所用任务类型更为广泛和灵活。如 Gabor 光栅二择一迫选任务(Bahrami et al., 2012; Bahrami et al., 2010; Baumgart et al., 2019; Pescetelli et al., 2016)，视觉感知分类任务(Leong, Hughes, Wang, & Zaki, 2019)，色块感知任务(Desender, Boldt, & Yeung, 2018)和颜色字母双任务(Aguilar-Lleyda, Lemarchand, & Gardelle, 2019)等。在联合决策二择一迫选任务中(Two-Alternative Forced Choice)，通常采用 Gabor 光栅作为刺激材料，调节光栅对比度以改变刺激强度。实验要求个体选择含有靶刺激的目标，随后对自信心进行评定，期间不允许小组内进行交流，个体决策结束后，组内再针对双方决策和自信心进行沟通，以进行联合决策(Bahrami et al., 2012; Bahrami et al., 2010; Baumgart et al., 2019; Pescetelli et al., 2016)。研究发现沟通的形式也会影响联合决策的表现，当允许言语沟通时决策表现优于非言语(仅在屏幕上呈现对方的选择)，而同时允许言语和非言语沟通的效果劣于仅言语沟通的情况(Bahrami et al., 2012)。Leong 等人(2019)的研究则采用了视感知觉分类任务，研究个体的动机性决策过程。实验材料采用面孔场景混合图片，每次呈现图片之前，要求被试的队友或者对手(合作条件 VS. 竞争条件)对图片的优势成分(面孔或场景)进行预测，随后呈现图片，被试判断优势成分并评定自信程度。研究发现在合作条件下，如果队友预测优势成分为面孔，那么被试会期望实际图片优势成分也为面孔，竞争条件下则相反。实验通过操纵实际和预测成分的一致与否来探索动机性感知的心理过程及其神经机制。

在高级心理加工任务类型中，Molenberghs 等人(2016)采用了高级社会认知推理任务(high-level social and cognitive reasoning task)，研究采用 2(情绪：积极或中性)x2(间接他人推理或直接事实推理)实验设计，给被试呈现短视频(~15s，条件随机)，视频结束之后，被试首先评估自己的主观感受，其次评估对视频中的人的同情程度，之后回答视频中的相关问题(直接问答和推理问答)，最后进行自信程度评分。研究发现和高级推理心理过程相关的元认知个体差异和前内侧前额叶皮层(anterior medial prefrontal cortex，aPFC)的激活程度有关，为高级认知过程和元认知的神经关联提供了证据。

综上，自信心在决策任务研究中可采用的实验任务类型丰富且灵活，包括视空间任务类型，感知觉任务类型和高级心理加工任务。决策研究中视空间和感知觉任务类型的运用多为解决基础心理加工过程服务，而涉及高级心理的元认知任务范式相对较少，这可能和任务难度以及研究问题有关。

4 联合决策中自信心指标的预测作用及其神经生理机制

如上所述，了解任务类型为自信心在联合决策中的实现提供了途径，自信心指标反映了个体元认知敏感性的程度高低。而近代以来，心理学领域中计算模型、信号检测论和贝叶斯理论的引入和运用，为自信心预测联合决策提供了新的思路(Bahrami et al., 2010; Baumgart et al., 2019; Maniscalco & Lau, 2012; Mannes et al., 2014)。除此之外，对联合决策自信心指标的神经生理机制的研究发现，元认知能力和前额皮层密切相关，大量研究已经表明前额叶皮层和推理、认知、决策等高级心理功能相关，且不同自信程度对应的脑区活动也有所不同(Hassabis & Maguire, 2007; Molenberghs et al., 2016; Sharot, Riccardi, Raio, & Phelps, 2007)。

4.1 自信心指标的预测作用

对于如何通过计算和分析自信心指标预测联合决策结果，已有研究者对此提出了众多相关的参数模型。直接信号模型(direct signal sharing model，DSS)认为，不论个体间视觉敏感度是否存在差异，通过沟通刺激反应的均值和标准差等信息，都会产生两个人的智慧优于一个人的现象，使集体利益大于个人(Alais & Burr, 2004)。然而信任加权分享模型(the weighted confidence sharing model，WCS)则认为，视觉敏感性不同的个体，自信心程度不同，对集体利益的影响也不同。如当一个人的视觉敏感度和另一个人的差异大于 40%时，集体利益不会高于视觉敏感度更高的个体的表现，甚至会产生负向结果，使两个人的智慧小于一个人的智慧(Bahrami et al., 2010)。因此，通过信号检测论和接受者操作特性曲线(ROC)，研究人员分别将自信程度与错误试次和正确试次的比值作为 ROC 曲线的坐标轴，通过 meta-d’和 d’等参数的计算，求出曲线下阴影区域，反映个体元认知敏感性程度。ROC 曲线位于对角线之上的数据表示个体对自身决策自信不足，位于对角线之下则反映了对决策过度自信的现象。这种方法和概率估计中校准等方法联系起来，可以降低偏见因素对预测的影响(Fleming & Frith, 2014)。

上述方法虽然降低了偏见因素带来的影响，但是并没有进一步区分引起元认知变化的具体因素。Koriat(2012b)的研究表示，“Ⅰ型”决策敏感性和“Ⅱ型”决策敏感性存在相关，但这意味着两种决策敏感性的测量可能会互相混淆，无法判断联合决策的变化是因为个体本身视觉敏感性高，更容易识别物理刺激，还是有更高的元认知敏感性，可以在高级心理过程中调节自己的行为，从而做出更好的联合决策。因此，Pescetelli 等人(2016)遵循分离思路，将“Ⅰ型”决策和“Ⅱ型”决策分离开，控制刺激强度，将“Ⅰ型”决策的正确率控制在相对稳定的 71%，，那么随后如果联合决策集体利益发生变化，则是由于“Ⅱ型”决策自信心的变化导致的。研究发现联合决策中成员意见的一致或不

一致对自信心判断的影响是相反的，当成员间观点一致时，自信程度增加，观点不一致时，自信程度降低，元认知敏感性的增加促进集体利益的增大。

也有研究者对自信心判断的预测参数进行了扩展分析，发现 DDI(Distribution Difference Index，个体决策过程中个体在每种自信水平上的频率分布差异)作为指标不具有预测显著性，然而 CPDI(Confidence Performance Difference Index，个体决策过程中在每种自信水平上的表现差异)则是一个集体利益的良好预测指标(Baumgart et al., 2019)。

综上，由于自信心预测指标的复杂性，通过模型计算可以简化自信度的计算，使用简单的操作即可完成。其次，通过计算其他决策变量或者进行模型间比较，可以帮助我们理解决策过程，探索关键的心理因素，因此计算模型具有其独特的优势和前景。

4.2 自信心相关的神经生理机制

来自脑损伤、神经影像学和电生理学的证据发现了前额皮层及其相关脑区和后顶叶皮层(posterior parietal cortex，PPC)对自信心的重要性，研究对元认知功能性的贡献量进行了探讨。这些区域在自信心判断中扮演着不同的角色，反映了个体的主观自信水平，以及自信心判断的准确性(Fleming & Frith, 2014)。

研究发现 PFC 及其相关脑区和自信心的表达紧密相关。Fleming 等人(2010)通过脑结构成像，发现元认知准确性的差异与右侧嘴外侧前额皮质(right rostrolateral prefrontal cortex，rlPFC)中的灰质体积呈正相关，而更高的元认知准确性与白质完整性程度的增加有关。也有研究发现局部大脑结构的个体差异影响区域功能特性(Kanai, & Rees, 2011)。Yokoyama 等人(2010)同样采用 fMRI 进行研究，发现元认知准确性与右后侧布鲁德曼第 10 区的活动水平相关，而和任务表现无关。基于任务表现和元认知准确性分离这一思路，有研究将决策后自信心的判断和决策前的任务表现预测的神经系统进行分离，发现前额皮层的损伤会选择性的影响元认知报告的准确性，而不会影响记忆等任务的表现(Fleming & Frith, 2014)。研究发现腹内侧前额叶皮层(ventromedial prefrontal cortex，vmPFC)也在预测任务表现中发挥着作用，可能的解释是腹内侧前额叶和内侧颞叶记忆结构以及楔前叶(precuneus)之间都存在着紧密联系，从而利用已有的记忆信息想象未来(Hassabis & Maguire, 2007; Sharot et al., 2007)。

除此之外，前内侧前额叶皮层(aPFC)也被证明和元认知紧密相关。Molenberghs 等人(2016)的研究进一步探索前额叶皮层和元认知的关系，研究发现个体元认知正确率的提高和 aPFC 的激活降低有关，二者呈负相关。该脑区已被证明和知觉、记忆等元认知能力有关(Yokoyama et al., 2010; Fleming & Frith, 2014)。除此之外，研究发现个体自信心增加时，双侧纹状体(bilateral striatum)和海马(hippocampus)等和奖赏、记忆、运动有关的脑区激活增加。缺乏自信心则与消极情绪和不确定性相关的脑区激活有关，包括背内侧前额叶皮质(dorsomedial prefrontal cortex)和双侧眶额皮质(dorsomedial prefrontal orbitofrontal cortex)，而过度自信则和元认知敏感性呈负相关，个体对选择的过度自信，反映了低元认知敏感性。Allen(2017)的研究发现了 aPFC、楔前叶、海马和视觉皮层中感知觉元认知相关的脑结构模式，其中，右侧 aPFC 和元认知呈正相关，相反的是，左侧海马髓鞘形成的减少和更高的元认知敏感性相关。

除前额叶皮层相关脑区之外，后顶叶皮层(PPC)也发挥着重要作用。Fleming 和 Dolan(2012)的研究结果表明双侧 rlPFC、背侧前扣带回(dorsal anterior cingulate cortex)和后顶叶皮层在元认知任务中表现出双重活动特征：低自信心时，脑区激活强度增加，高自信心时，相关脑区活动减弱，研究发现个体的自信心判断和任务表现存在相关，任务正确率高的往往自信程度也高，反映良好的元认知能力。其他 fMRI 研究同样表明，顶叶上下区域在传递主观记忆自信心的方式上可能发挥着不同的作用(Chua, Schacter, & Sperling, 2009; Kim & Cabeza, 2007)，当个体做出独立的自信心判断时，高自信的人比低自信的人在顶叶下皮层中表现出更强的活动。相比之下，许多研究也表明，与高自

信相比，低自信的人顶叶上皮层的活动更活跃(Kim & Cabeza, 2007; Kim & Cabeza, 2009)。

根据上述讨论可以发现前额叶皮层及其相关脑区和后顶叶皮层相关脑区对元认知的重要性：前额叶皮层相关脑区在自信心中的作用可能和对任务表现进行监控的作用类似，用于整合之前与决策相关的信息；后顶叶皮层相关脑区则对自信心的程度高低更敏感，综合影响元认知的准确性。这些研究表明自信心的高低在不同脑区的激活程度存在差异，但相关神经生理机制的研究缺乏对跨任务类型和任务难度差异的横向研究。

5 总结与展望

在联合决策领域中，自信心这一元认知敏感性指标一直是研究热点问题，本文重点关注自信心指标的提出及其重要性，并对决策研究过程中常见的任务类型，自信心基于计算模型对联合决策的预测作用及其相关神经生理机制等问题进行了梳理。未来的研究可以从探索高级心理加工过程的任务类型、探索预测模型的可能参数、神经生理机制的深入研究和扩大现实生活中的应用等方面出发。

首先，自信心相关的实验任务类型涵盖的心理活动广泛且变式灵活。联合决策在后续研究中可以采用跨任务类型的横向研究，验证有关结论在不同任务类型中是否存在一致性。同时联合决策中涉及高级心理活动(如推理、判断)的神经生理学研究较少，后续研究可以通过拓展高级心理活动相关的任务类型，如将行为研究所用任务类型迁移到神经生理学研究，或者将单人决策所用范式应用到双人或者多人决策，以填补联合决策中元认知和高级认知过程的神经关联的研究空白。

其次，从研究方法来看，运用自信心预测联合决策存在多种计算参数和相关模型，这些参数如 meta-d’、DDI、CPDI 等都有各自的优点和不足。未来可以加强计算模型等数理领域的运用和迁移，对模型可能存在的其他自信心参数进行探索，优化模型预测结果，但同时应考虑到模型的适用性，平衡好适用范围和追求高拟合度之间的矛盾。

再者，应深入关注其潜在的神经生理机制。虽然 Molenberghs 等人(2016)的研究表明元认知能力和 aPFC 的激活密切相关，但也有一些研究提供了不同的证据，认为元认知和相关脑区的脑容量相关。例如，McCurdy 和同事(2013)的研究发现，虽然视觉元认知和记忆元认知在不同任务间存在相关性，但视觉元认知能力与 aPFC 中脑容量的大小相关，而记忆元认知与楔前叶中脑容量的大小相关。因此，未来可以探索元认知的基本神经结构如何受到任务类型和任务复杂性等差异的影响，并将神经生理学和社会学方向紧密联结起来，以为联合决策下可能的神经生理机制提供参考和启发。

最后，在现实生活中，联合决策涉及的领域方方面面，如何利用好元认知能力，发挥联合决策的优势具有良好的社会适应作用。如在社交媒体领域中，应用态度说服相关的元认知模型，对促进个体健康行为，改善刻板印象，提升品牌形象等有积极作用(Briñol & Petty, 2015; 卢剑, 肖子伦, 冯廷勇, 2017)。而在临床领域中发现，精神分裂症、阿兹海默症和脑损伤等疾病患者中存在的不同程度的记忆缺陷、情绪症状和认知问题等现象都和元认知能力密切相关(Antonius et al., 2011; Mintz, Dobson, & Romney, 2003)，对患病个体元认知的关注可以启发对健康个体元认知的研究。

伴随着近现代人与人沟通距离的迅速科技化，全球协作过程中联合决策的发生愈加频繁，科技手段的进步也使对个体认知层次的复杂思维的研究得以实现，这有利于帮助人们更好的适应现代社会。虽然迄今为止对联合决策中自信心的预测作用的研究存在诸多问题，未来仍可以通过计算科学领域探索可能的预测模型，优化预测参数，弥补现有研究的不足。除此之外，对自信心相关神经生理机制进一步进行研究和探索同样是有价值的研究方向，需要研究者对这种高级认知活动开展更多的心理学研究。

参考文献

[1] 卢剑, 肖子伦, 冯廷勇. (2017). 元认知: 态度与说服研究的新视角. 心理科学进展, *25*(5), 866 - 877.

[2] Aguilar-Lleyda, D., Lemarchand, M., & Gardelle, V. d. (2019). Confidence as a priority signal. 480350. doi:10.1101/480350 %J *bioRxiv*.

[3] Alais, D., & Burr, D. (2004). The Ventriloquist Effect Results from Near-Optimal Bimodal Integration. *Current Biology, 14*(3), 257 - 262.

[4] Allen, M., Glen, J. C., Müllensiefen, D., Schwarzkopf, D. S., Fardo, F., Frank, D., . . . Rees, G. (2017). Metacognitive ability correlates with hippocampal and prefrontal microstructure. *Neuroimage, 149,* 415 - 423.

[5] Antonius, D., Prudent, V., Rebani, Y., D'Angelo, D., Ardekani, B. A., Malaspina, D., & Hoptman, M. J. (2011). White matter integrity and lack of insight in schizophrenia and schizoaffective disorder. *Schizophrenia Research, 128*(1 - 3), 76 - 82.

[6] Bahrami, B., Olsen, K., Latham, P. E., Roepstorff, A., Rees, G., & Frith, C. D. (2010). Optimally interacting minds. *Science*, *329*(5995), 1081-1085.

[7] Bahrami, B., Olsen, K., Bang, D., Roepstorff, A., Rees, G., & Frith, C. (2012). What failure in collective decision-making tells us about metacognition. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *367*(1594), 1350-1365.

[8] Baumgart, K. G., Byvshev, P., Sliby, A.-N., Strube, A., König, P., & Wahn, B. (2019). Neurophysiological correlates of collective perceptual decision-making. *bioRxiv,* 601674.

[9] Bovens, L., & Hartmann, S. (2003). *Bayesian epistemology*. Oxford: Oxford University Press.

[10] Brennan, A. A., & Enns, J. T. (2015). When two heads are better than one: Interactive versus independent benefits of collaborative cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, *22*(4), 1076 - 1082.

[11] Briñol, P., & Petty, R. E. (2015). Elaboration and validation processes: Implications for media attitude change. *Media Psychology*, *18*(3), 267 - 291.

[12] Chua, E. F., Schacter, D. L., & Sperling, R. A. (2009). Neural basis for recognition confidence in younger and older adults. *Psychol Aging, 24*(1), 139 - 153.

[13] Desender, K., Boldt, A., & Yeung, N. (2018). Subjective confidence predicts information seeking in decision making. *Psychological Science, 29*(5), 761 - 778.

[14] Fleming, S. M., & Dolan, R. J. (2012). The neural basis of metacognitive ability. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *367*(1594), 1338 - 1349.

[15] Fleming, S. M., & Frith, C. D. (Eds.). (2014). *The cognitive neuroscience of metacognition*. London, UK: Springer.

[16] Fleming, S. M., & Lau, H. C. (2014). How to measure metacognition. *Frontiers in human neuroscience*, *8*, 443.

[17] Fleming, S. M., Weil, R. S., Nagy, Z., Dolan, R. J., & Rees, G. (2010). Relating introspective accuracy to individual differences in brain structure. *Science*, *329*(5998), 1541 - 1543.

[18] Fletcher, P. C., & Henson, R. N. A. (2001). Frontal lobes and human memory: insights from functional neuroimaging. *Brain*, *124*(5), 849 - 881.

[19] Galton, F. (1907). One vote, one value. *Nature*, *75*(1948), 414 - 414.

[20] Galvin, S. J., Podd, J. V., Drga, V., & Whitmore, J. (2003). Type 2 tasks in the theory of signal detectability: Discrimination between correct and incorrect decisions. *Psychonomic Bulletin & Review*, *10*(4), 843 - 876.

[21] Hassabis, D., & Maguire, E. A. (2007). Deconstructing episodic memory with construction. *Trends in cognitive sciences*, *11*(7), 299 - 306.

[22] Kanai, R., & Rees, G. (2011). The structural basis of inter-individual differences in human behaviour and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, *12*(4), 231.

[23] Kim, H., & Cabeza, R. (2007). Trusting our memories: dissociating the neural correlates of confidence in veridical versus illusory memories. *Journal of Neuroscience*, *27*(45), 12190 - 12197.
[24] Kim, H., & Cabeza, R. (2009). Common and specific brain regions in high-versus low-confidence recognition memory. *Brain research*, *1282*, 103 - 113.
[25] Kitchner, K. S. (1983). Cognition, metacognition, and epistemic cognition. *Human development*, *26*(4), 222 - 232.
[26] Koriat, A. (2012a). The self-consistency model of subjective confidence. *Psychological review*, *119*(1), 80.
[27] Koriat, A. (2012b). When are two heads better than one and why?. *Science*, *336*(6079), 360 - 362.
[28] Koriat, A., Ma'ayan, H., & Nussinson, R. (2006). The intricate relationships between monitoring and control in metacognition: Lessons for the cause-and-effect relation between subjective experience and behavior. *Journal of Experimental Psychology: General*, *135*(1), 36.
[29] Le Comte, E. S. (1950). " That Two-Handed Engine" and Savonarola. *Studies in Philology*, *47*(4), 589 - 606.
[30] Leong, Y. C., Hughes, B. L., Wang, Y., & Zaki, J. (2019). Neurocomputational mechanisms underlying motivated seeing. *bioRxiv*, 364836.
[31] Lorenz, J., Rauhut, H., Schweitzer, F., & Helbing, D. (2011). How social influence can undermine the wisdom of crowd effect. *Proceedings of the national academy of sciences*, *108*(22), 9020 - 9025.
[32] Macmillan, N. A., & Creelman, C. D. (2004). *Detection theory: A user's guide*. New York: Psychology press.
[33] Maniscalco, B., & Lau, H. (2012). A signal detection theoretic approach for estimating metacognitive sensitivity from confidence ratings. *Consciousness and cognition*, *21*(1), 422 - 430.
[34] Mannes, A. E., Soll, J. B., & Larrick, R. P. (2014). The wisdom of select crowds. *Journal of personality and social psychology*, *107*(2), 276.
[35] McCurdy, L. Y., Maniscalco, B., Metcalfe, J., Liu, K. Y., De Lange, F. P., & Lau, H. (2013). Anatomical coupling between distinct metacognitive systems for memory and visual perception. *Journal of Neuroscience*, *33*(5), 1897 - 1906.
[36] Mintz, A. R., Dobson, K. S., & Romney, D. M. (2003). Insight in schizophrenia: a meta-analysis. *Schizophrenia research*, *61*(1), 75 - 88.
[37] Molenberghs, P., Trautwein, F. M., Böckler, A., Singer, T., & Kanske, P. (2016). Neural correlates of metacognitive ability and of feeling confident: a large-scale fMRI study. *Social cognitive and affective neuroscience*, *11*(12), 1942 - 1951.
[38] Nitzan, S., & Paroush, J. (1985). *Collective decision making: an economic outlook*. CUP Archive.
[39] Overgaard, M., & Sandberg, K. (2012). Kinds of access: different methods for report reveal different kinds of metacognitive access. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *367*(1594), 1287 - 1296.
[40] Peirce, C. S., & Jastrow, J. (1884). On small differences in sensation. *Memoirs of the of Sciences, 3,* 73 - 83.
[41] Persaud, N., McLeod, P., & Cowey, A. (2007). Post-decision wagering objectively measures awareness. *Nature neuroscience*, *10*(2), 257.
[42] Pescetelli, N., Rees, G., & Bahrami, B. (2016). The perceptual and social components of metacognition. *Journal of Experimental Psychology: General*, *145*(8), 949.
[43] Pronin, E. (2007). Perception and misperception of bias in human judgment. *Trends in cognitive sciences*, *11*(1), 37 - 43.
[44] Rauhut, H., & Lorenz, J. (2011). The wisdom of crowds in one mind: How individuals can simulate the knowledge of diverse societies to reach better decisions. *Journal of mathematical Psychology*, *55*(2), 191 - 197.
[45] Robinson, M. D., Johnson, J. T., & Herndon, F. (1997). Reaction time and assessments of cognitive effort as predictors of eyewitness memory accuracy and confidence. *Journal of Applied Psychology*, *82*(3), 416.

[46] Salimi, S., Irish, M., Foxe, D., Hodges, J. R., Piguet, O., & Burrell, J. R. (2018). Can visuospatial measures improve the diagnosis of Alzheimer's disease?. *Alzheimer's & Dementia: Diagnosis, Assessment & Disease Monitoring*, *10*, 66–74.
[47] Schmitz, T. W., Rowley, H. A., Kawahara, T. N., & Johnson, S. C. (2006). Neural correlates of self-evaluative accuracy after traumatic brain injury. *Neuropsychologia*, *44*(5), 762–773.
[48] Sharot, T., Riccardi, A. M., Raio, C. M., & Phelps, E. A. (2007). Neural mechanisms mediating optimism bias. *Nature*, *450*(7166), 102.
[49] Surowiecki, J., & Silverman, M. P. (2005). The Wisdom of Crowds. *American Journal of Physics, 75*(2), 190–192.
[50] Van den Berg, R., Zylberberg, A., Kiani, R., Shadlen, M. N., & Wolpert, D. M. (2016). Confidence is the bridge between multi-stage decisions. *Current Biology*, *26*(23), 3157–3168.
[51] Vul, E., & Pashler, H. (2008). Measuring the crowd within: Probabilistic representations within individuals. *Psychological Science*, *19*(7), 645–647.
[52] Yokoyama, O., Miura, N., Watanabe, J., Takemoto, A., Uchida, S., Sugiura, M., ... & Nakamura, K. (2010). Right frontopolar cortex activity correlates with reliability of retrospective rating of confidence in short-term recognition memory performance. *Neuroscience research*, *68*(3), 199–206.

(通讯作者：伍海燕, E-mail：wuhy@psych.ac.cn；罗文波, Email：wenbo9390@sina.com)

作者贡献声明*：

张紫琦, 贺则宇：论文起草, 最终版本修订。
伍海燕, 罗文波：提出思路, 文章版本修订。